

Concise Explanation of the Relevance

Japanese Patent Laid-Open Publication No. Hei 10-321913 discloses, as shown in Fig. 1, a sapphire substrate 1, n-type gallium nitride-based compound semiconductor layer 2, p-type gallium nitride-based compound semiconductor layer 3, transparent electrode 4, pad electrode 5, transparent conductive film 6, n-type electrode 7, and Au wire 8. In_2O_3 , SnO_2 , ZnO , Cd_2SnO_4 , and CdSnO_3 are listed as examples of the material for the transparent conductive film.

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

E

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

C

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号

特願平9-128452

(22) 出願日

平成9年(1997)5月19日

(71) 出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

(72) 発明者 備 俊雄

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ

ャープ株式会社内

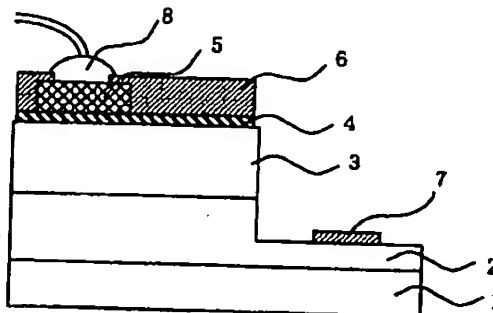
(74) 代理人 弁理士 梅田 勝

(54) 【発明の名称】 窒化ガリウム系化合物半導体発光素子及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 透光性電極を通して、光を取り出す構造の発光素子において、発光効率が高く、発光領域全体で均一に発光する素子を提供する。

【解決手段】 第1導電型窒化ガリウム系化合物半導体層、第2導電型窒化ガリウム系化合物半導体層が積層されている窒化ガリウム系化合物半導体発光素子において、第2導電型層表面に透光性電極が形成され、該透光性電極の上に透明導電体膜が形成されている窒化ガリウム系化合物半導体発光素子を提供することによって上記問題を解決する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1導電型窒化ガリウム系化合物半導体層、第2導電型窒化ガリウム系化合物半導体層が積層されている窒化ガリウム系化合物半導体発光素子において、第2導電型層表面に透光性電極が形成され、該透光性電極の上に透明導電膜が形成されていることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項2】 上記透明導電膜の厚さ t は、 $0.3\mu\text{m} \leq t \leq 30\mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項1に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項3】 上記透明導電膜の厚さ t はほぼ $\lambda/4n$ （ただし、 n は該透明導電膜の屈折率、 λ は、発光波長）の奇数倍となるように設定されていることを特徴とする請求項2に記載の窒化ガリウム系化合物発光素子。

【請求項4】 上記透光性電極は単層または積層された金属膜より構成され、かつ該金属膜の全体の厚みが 1nm 以上 5nm 以下であることを特徴とする請求項1に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項5】 上記透明導電膜の上に反射防止膜が形成されていることを特徴とする請求項1に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、青色領域から紫外光領域で発光可能な窒化ガリウム系化合物半導体発光素子（レーザ及び発光素子）及びその製造方法に係わり、特に窒化ガリウム系化合物半導体層を発光透光面とする発光素子の電極構造に関する。

【0002】

【従来の技術】 図13に従来の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の電極構造図を示す。絶縁性のサファイヤ基板上に、 n 型窒化ガリウム系化合物半導体層300、 p 型窒化ガリウム系化合物半導体層400が形成され、 p 型窒化ガリウム系化合物半導体層400表面上に p 型用電極パッドとして導電性透明膜200（たとえば微量の添加物を含む酸化スズ膜またはITO膜）及び n 型窒化ガリウム系化合物半導体層300表面上に n 型用電極パッドとして導電性透明膜またはAl等の金属100が形成されていることが、例えば、特開平8-102550号公報に開示されている。

【0003】 また、図14に従来の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の電極構造図を示す。絶縁性のサファイヤ基板上に、 n 型窒化ガリウム系化合物半導体層300、 p 型窒化ガリウム系化合物半導体層400が形成され、さらにその表面上に p 型用電極として透光性金属電極（Ni及びAuの積層）500と、パッド電極600（Au単体、Auに加えてTi, Ni, In, Ptよりなる少なくともひとつを含む合金）、 n 型電極700としてTi, Alが形成されている。さらに、透光性金

属電極（Ni及びAuの積層）500、パッド電極600、 n 型電極700及びチップ表面上に絶縁性の透光性膜（ SiO_2 , Si_3N_4 等）が形成されていることが、例えば、特開平7-94783に開示されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 図13の p 型GaN層400表面上に p 型用電極パッドとして導電性透明膜（ITO膜等）200を用いる場合、 p 型GaN層400と導電性透明膜（ITO膜等）200のオーミック性接触を得ることが困難であるという欠点を有している。なぜならば、低いキャリア濃度（ $1 \sim 5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ）の p 型GaN層200しか得られていないためである。

【0005】 一方、図14の透光性金属電極500はNi及びAuまたはそれらの合金などからなる。一般に、金属のプラズマ共鳴波長（以下、 λ_p と記す）は紫外光域にあるため可視光を反射する。

【0006】 このために、可視光領域にて透光性を保つためには、透光性金属電極500を非常に薄膜Ni5nm/Au5nmの積層構造で構成されている。透光性金属電極500の透過率を大きくすると、透光性金属電極500の膜厚を非常に薄くする必要があるため、透光性金属電極500の膜抵抗が大きくなる。また、透光性金属電極500の膜抵抗を小さくすると、透光性金属電極500の膜厚が厚くなり透過率が小さくなる。通常用いられる透光性金属電極500のNi5nm/Au5nmの合計10nm厚さの金属膜の積層構造の可視光に対する透過率は、約40%であり、透過率が低く、発光した光を効率的に取り出せないという欠点を有している。

【0007】 また、非常に薄い膜のため、透光性電極での横方向への電流拡がりに対する抵抗率が高くなり、発光面に均一に電流が注入されない。図12に、従来素子におけるパッド電極端部からの遠ざかる距離に対する相対発光強度の分布を示している。パッド電極端部から遠ざかる程、発光強度が低下しているのが分かる。これは、実際の電流の注入の不均一の影響と、さらに電流密度が高い程、電流-光変換効率が小さくなる窒化ガリウム系発光素子特有の現象のために発生する問題点である。

【0008】 また、当該発光素子をフルカラーディスプレイにおける青色や緑色の発光用に用いる場合には、3原色のバランスを調整すると共にトータルの輝度を変調するために、発光素子の電流を変調する必要がある。ところが、図12に示したような特性を有する発光素子をこのような応用に使用すると、素子に流す電流量により電流と発光量との線形性が損なわれているため、色補正に駆動回路系で複雑な調整を行う必要が生じ、応用上問題である。さらに、上記の透光性電極は全体の膜厚が10nmと非常に薄いため、半導体層との密着性及び機械的な強度が劣る。このため、製造工程の途中で発光素子

を実装する際のハンドリング等により透光性電極に傷が付いたり、剥がれが発生し、その部分に電流が流れなくなり、素子の製造歩留を著しく落とす原因となり、透光性電極表面を保護するため透光性の絶縁膜をさらに付加しなければならないが、この絶縁膜が素子に新たにひずみを与え素子の信頼性を害する等の問題点を有している。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明の請求項1に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子は、第1導電型窒化ガリウム系化合物半導体層、第2導電型窒化ガリウム系化合物半導体層が積層されている窒化ガリウム系化合物半導体発光素子において、第2導電型層表面に透光性電極が形成され、該透光性電極の上に透明導電体膜が形成されていることを特徴とする。

【0010】本発明の請求項2に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子は、前記透明導電体膜の厚さ t が、 $0.3\mu\text{m} \leq t \leq 10\mu\text{m}$ であることを特徴とする。

【0011】本発明の請求項3に記載の窒化ガリウム系化合物発光素子は、前記透明導電体膜の厚さ t がほぼ $\lambda/4n$ （ただし、 n は該透明導電体膜の屈折率、 λ は、発光波長）の奇数倍となるように設定されていることを特徴とする。

【0012】このことにより、p型窒化ガリウム系化合物半導体層と透明導電体膜のオーミック性を保ったまま光の透過率も約2倍の約80%以上になり、発光効率が向上する発光素子構造が実現出来る。また、透明導電体膜の λ_p は約 $0.9\mu\text{m}$ であるため、可視光は透過し赤外光を反射する。透明導電体膜の膜厚が $0.3\mu\text{m}$ 以上の厚膜においても、可視光域にて透過率は70%以上を有している。このため、透光性電極として、従来のように膜厚の精密な制御を必要としないし、導電性にも優れている。更に、透明導電体膜は、密着性及び機械的強度が強く、また透湿性が極めて低く、熱安定性にも優れている。このため、製造工程の途中で透明導電体膜に傷が付いたり、剥がれが発生せず、均一な発光が可能になる。

【0013】本発明の請求項4に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子は、前記透光性電極は単層または積層された金属膜より構成され、かつ該金属膜の全体の厚みが 1nm 以上 5nm 以下であることを特徴とする。

【0014】本発明の請求項5に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子は、前記透明導電体膜の上に反射防止膜が形成されていることを特徴とする。反射防止膜（屈折率 n_{low} 、膜厚 d_{low} ）は、透明導電体膜（屈折率 n ）、発光波長 λ との間に、 $n_{\text{low}} = n/2$ 、 $\lambda/4 = n_{\text{low}} \cdot d_{\text{low}}$ （ λ :波長）の関係であることが好ましい。透明導電体膜の屈折率が2程度の時、 SiO_2 、 MgF_2 、 LiF 膜等を用いることによ

り、任意な波長に対して透過率を90%以上にすることが可能となり、窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の光の取り出し効率が增加する。

【0015】

【発明の実施の形態】本発明を具体的な実施例に基づいて詳細に説明する。なお、本願明細書において、窒化ガリウム系半導体とは、例えば、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ （ $0 \leq x$, $0 \leq y$, $x+y \leq 1$ ）も含むものとする。また、本明細書では、半導体発光素子は、発光ダイオードや半導体レーザを含む。

【0016】本発明の実施の形態は、サファイヤ基板又は SiC 基板上に、n型窒化ガリウム系化合物半導体層、p型窒化ガリウム系化合物半導体層が積層された積層構造体を形成する。p型窒化ガリウム系化合物半導体層上に透光性電極、その上にパッド電極を形成する。該透光性電極は Ni 、 Pt 、 Pd のうちひとつからなり、膜抵抗が小さくかつ透過率が大いことを満足するため、その厚さは $1 \sim 5\text{nm}$ 形成する。

【0017】該パッド電極は、例えば Au からなる。次に、透光性電極及びパッド電極を覆うように透明導電体膜を形成する。その厚さは、膜抵抗が小さくかつ透過率が大いことを満足するため、 $0.3 \sim 1\mu\text{m}$ 形成する。

【0018】該透明導電体膜は横方向に発光素子全体に電流が均一に注入されるように横方向の抵抗が低いことが重要である。発光素子での透明導電体膜の厚さを $0.1\mu\text{m} \sim 100\mu\text{m}$ まで変化させた実験の結果、透明導電体膜の厚さが $0.2\mu\text{m}$ より薄い場合には、パッド電極付近の発光強度に対するチップ内でのパッド電極から最も遠い部分の光出力は50%程度となり、不均一性は改善されず、発光効率の低下が観測された。それに対し、透明導電体膜の厚さを $0.3\mu\text{m}$ 以上とした場合は、チップ端での光出力の低下は約80%以上と不均一性を改善することができ、従来問題となった電流の不均一に伴う発光効率の低下はほとんど見られなかった。

【0019】一方、この透明導電体膜を厚さを $35\mu\text{m}$ 以上とした場合には、透明導電体膜での電圧降下が 0.05V 以上とそれ以外の部分での電圧降下 $3 \sim 4\text{V}$ の%オーダー以上となり、素子特性上問題となり、かつ、この部分での発熱とチップ材料との熱膨張係数の差異によると思われる透明導電体膜の割れが長期の動作中に発生することが分かった。

【0020】従って、この透明導電体膜の最適な厚さは $0.3\mu\text{m}$ 以上、 $30\mu\text{m}$ 以下であることが分かった。

【0021】更に、透明導電体膜の材料としては、 In_2O_3 、 SnO_2 、 ZnO 、 Cd_2SnO_4 、 CdSnO_3 のうち少なくともひとつを用いる。 In_2O_3 の場合はドーパントとして Sn 、 W 、 Mo 、 Zr 、 Ti 、 Sb 、 F 等のうちひとつを用いる。 SnO_2 の場合はドーパントとして Sb 、 P 、 Te 、 W 、 Cl 、 F 等のうちひとつを用

いる。 Cd_2SnO_4 の場合はドーパントとしてTaを用いる。 ZnO の場合はドーパントとしてAl, In, B, F等のうちひとつを用いる。

【0022】次に、パッド電極と外部との電気的接触を持たせるために、透明導電体膜の一部を除去し、パッド電極の表面を露出させ、その上に金属ワイヤー、例えばAuを接続する。

【0023】透明導電体膜の形成には、蒸着法、スパッタ法、CVD法等を用いて形成する。電極材のAu, Ni, Pt, Pdは、真空蒸着法、電子ビーム蒸着法等を用いて形成する。ここで、p型窒化ガリウム系化合物半導体層と透明導電体膜の間に透光性電極を導入することにより良好なオーミック特性が得られ電流拡散が均一となる。さらに、良好なオーミック特性を損なわず、透明導電体膜を用いることができ、発光層からの発生光に対して、透過率が約2倍の80%となり外部発光効率が増加し、p型窒化ガリウム系化合物半導体層と透明導電体膜間の電気的特性に問題のない量産性に優れた窒化ガリウム系化合物半導体発光素子が提供できる。

【0024】本発明の他の実施の形態は、前記透明導電体膜上に、反射防止膜を形成することにある。反射防止膜の、膜厚 d_{low} は、 $\lambda/4 = n_{\text{low}} \cdot d_{\text{low}}$

(λ :波長)を満足するように形成する。透明導電体膜の干渉反射を防止するために、反射防止膜を形成し、その膜厚は前記式を満足する膜厚に設定される。上記式の条件からずれると透過率が低下するので好ましくない。反射防止膜の材料として屈折率が約1.4の SiO_2 , MgF_2 , LiF のうちひとつを用いることができる。 SiO_2 , MgF_2 , LiF はCVD法、スパッタ法等を用いて形成される。

【0025】このように、反射防止膜を形成することにより任意の波長に対して透過率が約90%以上となり外部発光効率が増加し、外部発光効率の優れた、窒化ガリウム系化合物半導体発光素子を提供できる。

【0026】以上、窒化ガリウム系化合物半導体発光素子構造はホモ構造の発光素子について説明したが、窒化ガリウム系化合物半導体発光素子であれば、ダブルヘテロ構造、シングルヘテロ構造等あらゆる構造に適用できることは言うまでもない。

【0027】(実施例1)図1は、本発明の一実施例によって作製された窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の電極模式図で、1はサファイア基板、2はn型窒化ガリウム系化合物半導体層、3はp型窒化ガリウム系化合物半導体層、4は透光性電極、5はパッド電極、6は透明導電体膜、7はn型電極、8はAuワイヤーである。

【0028】本発明の電極作製工程を図8(1)～(3)に基づいて説明する。

(1)サファイア基板1上に、n型窒化ガリウム系化合物半導体層2、p型窒化ガリウム系化合物半導体層3を順次積層する。p型窒化ガリウム系化合物半導体層3上

に透光性電極4、パッド電極5を形成する。透光性電極4はNiを2nm厚形成する。パッド電極5は、その厚さは500nm厚形成する。次に、透光性電極4及びパッド電極5上に透明導電体膜6を形成する。透明導電体膜6は In_2O_3 にドーパントとしてSnを用いる。その厚さは0.5 μm 厚形成する。

【0029】次に、発光領域を形成するためにレジスト10を塗布し、通常的光エッチング工程を用いて透明導電体膜6を塩化鉄系の溶液にて除去、次に、透光性電極4をエッチングにて除去する。

【0030】(2)該レジスト10をドライエッチング用のマスクとして用い、ドライエッチング法によりn型窒化ガリウム系化合物半導体層2表面が露出するまでエッチングを行う。

【0031】(3)次に、パッド電極5と外部との電気的接触を持たせるために、透明導電体膜6の一部を塩化鉄系の溶液にて除去し、パッド電極5の表面を露出させる。次に、n型窒化ガリウム系化合物半導体層2の表面にn型電極7を形成する。該n型電極7は、Al(厚さは150nm)及びTi(厚さは20nm)の積層構造を用いる。次に、パッド電極5と外部との電気的接触を持たせるために、パッド電極5の上にAuワイヤー8を接続する。

【0032】ここで、p型窒化ガリウム系化合物半導体層3と透明導電体膜6間に透光性電極4を導入することにより良好なオーミック特性が得られ電流拡散が均一となる。

【0033】このように、透過率が約2倍の80%となり、発光もチップ面内で均一化でき、かつ電流の均一化により局所的に発光効率を落とすことなくチップ全体での外部発光効率が増加でき、p型窒化ガリウム系化合物半導体層3と透明導電体膜6間の電気的特性に問題のない量産性に優れた窒化ガリウム系化合物半導体発光素子が作製できた。

【0034】さらに、透明導電体膜6を直接p型窒化ガリウム系化合物半導体層3に接触させた場合には素子動作中に透明導電体膜が剥離する等の密着性の問題が生じたが、間に金属膜からなる透光性電極4を形成することにより密着性が向上し、このような問題も解決できた。

【0035】(実施例2)図2は、本発明の一実施例によって作製された窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の電極模式図で、60はn型SiC基板、2はn型窒化ガリウム系化合物半導体層、3はp型窒化ガリウム系化合物半導体層、4は透光性電極、5はパッド電極、6は透明導電体膜、7はn型電極、8はAuワイヤーである。

【0036】本発明の電極作製工程を図9(1)～(3)に基づいて説明する。

(1)n型SiC基板60上に、n型窒化ガリウム系化合物半導体層2、p型窒化ガリウム系化合物半導体層3

を順次積層する。p型窒化ガリウム系化合物半導体層3上に透光性電極4及びパッド電極5を形成する。透光性電極4は、Niを4nm形成する。パッド電極5は、Auを500nm形成する。

【0037】(2)次に、パッド電極5及び透光性電極4上に透明導電体膜6を形成する。透明導電体膜6は、 In_2O_3 のドーパントとしてSnを用い、その厚さは600nm形成する。

【0038】(3)次に、パッド電極5と外部との電氣的接触を持たせるために、透明導電体膜6の一部を例えば塩化鉄系の溶液にて除去し、パッド電極5の表面を露出させる。次に、n型SiC基板60の裏面にn型電極7を形成する。次に、パッド電極5と外部との電氣的接触を持たせるために、パッド電極5の上にAuワイヤー8を接続する。

【0039】ここで、p型窒化ガリウム系化合物半導体層3と透明導電体膜6間に透光性電極4を導入することにより良好なオーミック特性が得られ電流拡散が均一となる。

【0040】このように、透過率が約1.8倍の70%となり外部発光効率が増加し、p型窒化ガリウム系化合物半導体層3と透明導電体膜6間の電氣的特性に問題のない量産性に優れた窒化ガリウム系化合物半導体発光素子が作製できる。

【0041】(実施例3)図3は、本発明の一実施例によって作製された窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の電極模式図で、透明導電体膜6の上に反射防止膜9が形成されている以外は実施例1と同様である。

【0042】本発明の電極作製工程を図10の(1)～(3)に基づいて説明する。

(1) サファイヤ基板1上に、n型窒化ガリウム系化合物半導体層2、p型窒化ガリウム系化合物半導体層3を順次積層する。p型窒化ガリウム系化合物半導体層3上に透光性電極4、パッド電極5を形成する。透光性電極4はNiを2nm形成する。パッド電極5はAu、その厚さは500nm形成する。次に、透光性電極4及びパッド電極5上に透明導電体膜6を形成する。透明導電体膜6は In_2O_3 にドーパントとしてSnを用いるその厚さは0.6 μm 形成する。次に、透明導電体膜6上に反射防止膜9を形成する。反射防止膜9は屈折率が1.4の SiO_2 とし、膜厚d_{low}は、 $\lambda/4 = n_{\text{low}} \cdot d_{\text{low}}$ (λ :波長)を満足するように形成する。透明導電体膜6の干渉反射を防止するために反射防止膜9を形成し、その膜厚は上記式を満足する膜厚に設定される。上記式の条件からずれると透過率が低下するので好ましくない。

【0043】次に、発光領域を形成するためにレジスト10を塗布し、通常的光エッチング工程を用いて反射防止膜9をフッ酸系溶液にて除去、透明導電体膜6を塩化鉄系の溶液にて除去し、透光性電極4をエッチング

にて除去する。

【0044】(2)上記レジスト10をドライエッチング用のマスクとして用い、ドライエッチング法によりn型窒化ガリウム系化合物半導体層6表面が露出するまでエッチングを行う。

【0045】(3)次に、パッド電極5と外部との電氣的接触を持たせるために、反射防止膜9をフッ酸系エッチング液にて除去し、透明導電体膜6の一部を塩化鉄系の溶液にて除去し、パッド電極5の表面を露出させる。

次に、n型窒化ガリウム系化合物半導体層2の表面にn型電極7を形成する。該n型電極7は、Al(厚さは150nm)及びTi(厚さは20nm)の積層構造を用いる。次に、パッド電極5と外部との電氣的接触を持たせるために、パッド電極5の上にAuワイヤー8を接続する。

【0046】このように、反射防止膜を形成することにより任意の波長に対して透過率が約85%以上となり、反射防止膜を付加することによりさらに外部発光効率が増加し、p型窒化ガリウム系化合物半導体層3と透明導電体膜6間の電氣的特性に問題のない量産性に優れた窒化ガリウム系化合物半導体発光素子が作製できた。

【0047】(実施例4)図4は、本発明の一実施例によって作製された窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の電極模式図で、透明導電体膜6の上に反射防止膜9を形成した以外は実施例2と同様である。

【0048】本発明の電極作製工程を図11の(1)～(3)に基づいて説明する。

(1) n型Ga_{0.4}N基板60上に、n型窒化ガリウム系化合物半導体層2、p型窒化ガリウム系化合物半導体層3を順次積層する。p型窒化ガリウム系化合物半導体層3上に透光性電極4、パッド電極5を形成する。透光性電極4はNiを3nm形成する。パッド電極5はAu、その厚さは800nm形成する。

【0049】(2)次に、透光性電極4及びパッド電極5上に透明導電体膜6を形成する。透明導電体膜6は In_2O_3 にドーパントとしてSnを用いる。その厚さは0.6 μm 形成する。次に、透明導電体膜6上に反射防止膜9を形成する。反射防止膜9は屈折率が1.4の SiO_2 とし、膜厚d_{low}は、 $\lambda/4 = n_{\text{low}} \cdot d_{\text{low}}$ (λ :波長)を満足するように形成する。透光性透明導電体膜6の干渉反射を防止するために反射防止膜9を形成し、その膜厚は上記式を満足する膜厚に設定される。上記式の条件からずれると透過率が低下するので好ましくない。

【0050】次に、発光領域を形成するためにレジスト10を塗布し、通常的光エッチング工程を用いて反射防止膜9をフッ酸系溶液にて除去、透明導電体膜6を塩化鉄系の溶液にて除去し、透光性電極4をエッチング

【0051】(3)次に、パッド電極5と外部との電氣的

の接触を持たせるために、反射防止膜9をフッ酸系エッチング液にて除去し、透明導電体膜6の一部を塩化鉄系の溶液にて除去し、パッド電極5の表面を露出させる。次に、n型窒化ガリウム系化合物半導体層2の表面にn型電極7を形成する。該n型電極7は、Ni（厚さは150nm）及びAu（厚さは20nm）の積層構造を用いる。次に、パッド電極5と外部との電気的接触を持たせるために、パッド電極5の上にAuワイヤー8を接続する。

【0052】このように、反射防止膜を形成することにより任意の波長に対して透過率が約90%以上となり外部発光効率が増加し、p型窒化ガリウム系化合物半導体層3と透明導電体膜6間の電気的特性に問題のない量産性に優れた窒化ガリウム系化合物半導体発光素子が作製できる。

【0053】（実施例5）図5は、本発明の一実施例によって作製された窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の電極模式図で、パッド電極が透明導電体膜の上に形成されている以外は実施例1と同様である。

【0054】サファイヤ基板1上に、n型窒化ガリウム系化合物半導体層2、p型窒化ガリウム系化合物半導体層3を順次積層する。p型窒化ガリウム系化合物半導体層3上に透光性電極4を形成する。該透光性電極4はNiを3nm形成する。次に、透光性電極4上に透明導電体膜6を形成する。透明導電体膜6は In_2O_3 にドーパントとしてSnを用いる。その厚さは0.38 μm 形成する。次に、Auのパッド電極5を形成する。その厚さは0.1 μm 形成する。次に、n型窒化ガリウム系化合物半導体層6の表面にn型電極7を形成する。該n型電極7は、Al（厚さは150nm）及びTi（厚さは20nm）の積層構造を用いる。パッド電極5の上にAuワイヤー12を接続する。

【0055】本構造によれば、パッド電極Auの厚さを通常問題となる0.3 μm 以下に薄くしても、透明導電体膜6の介在により、パッド電極Auによるパッド電極直下のp型窒化ガリウム系化合物半導体層3に及ぼす歪を小さくできるため、パッド電極直下の半導体層の劣化を抑えることが可能となり、信頼性に優れた窒化ガリウム系化合物半導体発光素子が作製できた。ここで、p型窒化ガリウム系化合物半導体層7と透明導電体膜1間に透光性電極4を導入することにより良好なオーミック特性が得られ電流拡散が均一となる。

【0056】本実施形態での発光波長は430nmであり、かつ透明導電体膜6の厚さを0.38 μm とした。これは、透明導電体膜6の屈折率nは2.0であり、発光波長430nmに対してこの透明導電体膜6が $\lambda/4$ nの奇数倍の厚さに設定するためである。これにより、この透明導電体膜6での多重反射効果によるチップ外部への光取り出し効率を大きくすることができる。ここでは、前述の実施形態で説明のように、透明導電体膜6

の厚さが0.3 μm 以上となるように $\lambda/4$ nの7倍の厚さとして素子を作製した。これにより、素子内部で発光する光の素子上面での透過率は従来素子の1.9倍の75%と高める事ができた。

【0057】このような構成にすることにより、透光性電極4と透明導電体膜6の積層構造部での電流の横方向の広がりを促進することと、p型オーミック性接触を再現性良く実現することと、素子内部での発光する光の透過率を大きくすることを全て同時に満足することが可能となった。本実施形態素子での、発光の均一性はパッド電極5から最も遠い部分での発光密度は86%と、十分に均一に発光させることができた。このような均一発光により、高電流密度領域で発光効率が低下する窒化ガリウム系発光素子において、素子全体としても最も効率的に電流を光に変換することができる窒化ガリウム系化合物半導体発光素子が実現できた。

【0058】（実施例6）図6は、本発明の一実施例によって作製された窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の電極模式図で、パッド電極が透明導電体膜の上に形成されている以外は実施例2と同様である。

【0059】n型SiC基板60上に、n型窒化ガリウム系化合物半導体層2、p型窒化ガリウム系化合物半導体層3を順次積層する。p型窒化ガリウム系化合物半導体層3上に透光性電極4を形成する。該透光性電極4はNiを2.5nm形成する。次に、透光性電極4上に透明導電体膜6を形成する。透明導電体膜6は In_2O_3 にドーパントとしてSnを用いる。その厚さは0.5 μm 形成する。次に、パッド電極Au5を形成する。その厚さは0.2 μm 厚形成する。次に、n型窒化ガリウム系化合物半導体層6の表面にn型電極7を形成する。該n型電極7は、Al（厚さは150nm）及びTi（厚さは20nm）の積層構造を用いる。パッド電極5の上にAuワイヤー8を接続する。

【0060】本構造によれば、パッド電極Auの厚さを薄くすることができるため、パッド電極Auによる、パッド電極直下のp型窒化ガリウム系化合物半導体層3に及ぼす歪を小さくできるため、パッド電極直下の半導体層の劣化を抑えることができるため、信頼性に優れた窒化ガリウム系化合物半導体発光素子が作製できる。

【0061】さらに、p型窒化ガリウム系化合物半導体層3と透明導電体膜6間に透光性電極4を導入することにより良好なオーミック特性が得られ電流拡散が均一となる。

【0062】このように、透過率が約2倍の80%となり外部発光効率が増加し、p型窒化ガリウム系化合物半導体層3と透明導電体膜6間の電気的特性に問題のない、量産性及び信頼性に優れた窒化ガリウム系化合物半導体発光素子が作製できる。

【0063】（実施例7）図7は、本発明の一実施例によって作製された窒化ガリウム系化合物半導体発光素子

の電極模式図で、パッド電極がない以外は実施例1と同様である。

【0064】サファイヤ基板1上に、n型窒化ガリウム系化合物半導体層2、p型窒化ガリウム系化合物半導体層3を順次積層する。p型窒化ガリウム系化合物半導体層3上に透光性電極4を形成する。該透光性電極4はNiを5nm形成する。次に、透光性電極4上に透明導電膜6を形成する。透明導電膜6はIn₂O₃にドーパントとしてSnを用いる。その厚さは0.6μm形成する。次に、透明導電膜6の上にAuワイヤー8を接続する。

【0065】次に、n型窒化ガリウム系化合物半導体層6の表面にn型電極7を形成する。該n型電極7は、Al（厚さは150nm）及びTi（厚さは20nm）の積層構造を用いる。

【0066】このように、透明導電膜6の上にAuワイヤー8を接続することにより、パッド電極5を形成する必要がなく、工程簡略化が可能となる。

【0067】さらに、透過率が約1.5倍の60%となり外部発光効率が増加し、p型窒化ガリウム系化合物半導体層3と透明導電膜6間の電気的特性に問題のない量産性に優れた窒化ガリウム系化合物半導体発光素子が作製できる。

【0068】

【発明の効果】本発明によれば、窒化ガリウム系化合物半導体発光素子において、p型窒化ガリウム系化合物半導体層と透明導電膜間に極薄膜の透光性電極を形成することにより、p型窒化ガリウム系化合物半導体層と透明導電膜が、良好なオーミック性接触持つことができる。さらに、発光素子の外部発光効率を減少させることなく、均一な発光パターンが得られる。

【0069】透光性透明導電膜を用いることにより、可視光に対する透過率が最大で90%以上となり、発光素子の外部発光効率も向上する。

【0070】以上、均一な発光パターンが得られ、さらに、外部発光効率が向上し、酸化物半導体と良好なオーミック特性を持つ量産性に優れた窒化ガリウム系化合物半導体発光素子を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子

の電極模式図である。

【図2】本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の電極模式図である。

【図3】本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の電極模式図である。

【図4】本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の電極模式図である。

【図5】本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の電極模式図である。

【図6】本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の電極模式図である。

【図7】本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の電極模式図である。

【図8】実施例1を説明するための窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の電極作製模式図である。

【図9】実施例2を説明するための窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の電極作製模式図である。

【図10】実施例3を説明するための窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の電極作製模式図である。

【図11】実施例4を説明するための窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の電極作製模式図である。

【図12】従来素子での発光強度分布を示す図である。

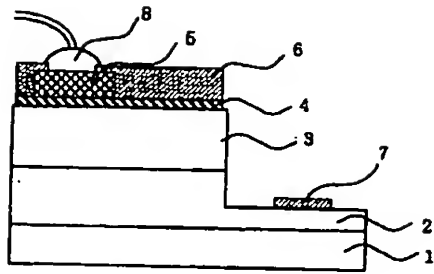
【図13】従来の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の電極構造上面模式図である。

【図14】従来の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子の電極構造の断面模式図である。

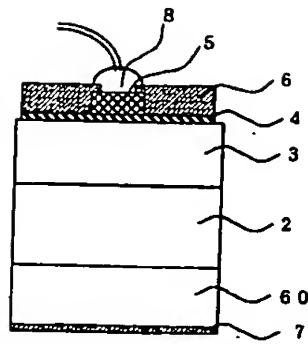
【符号の説明】

- 1 サファイヤ基板
- 60 n型SiC基板
- 2、300 n型窒化ガリウム系化合物半導体層
- 3、400 p型窒化ガリウム系化合物半導体層
- 4 透光性電極
- 500 透光性電極
- 5、600 パッド電極
- 6、200 透明導電膜
- 7、100、700 n型用電極
- 8 Auワイヤー
- 800 絶縁体膜
- 9 反射防止層
- 10 マスク用レジストまたは酸化膜

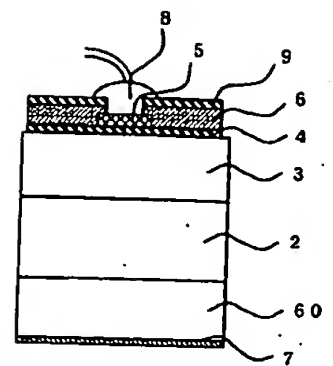
【図1】



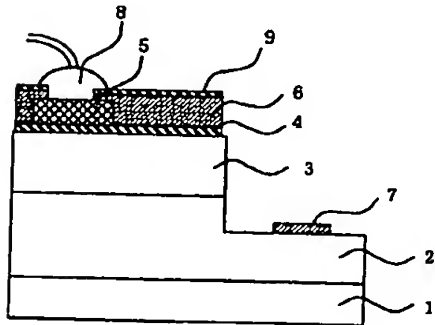
【図2】



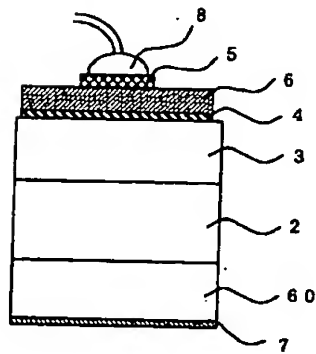
【図4】



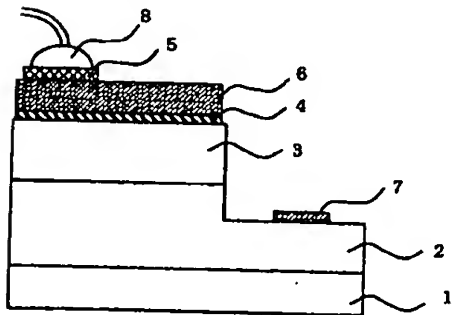
【図3】



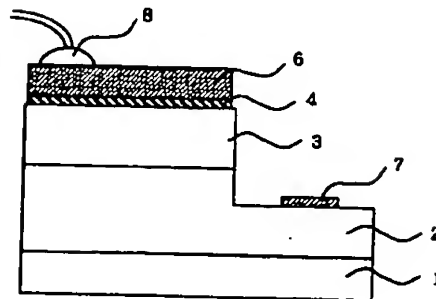
【図6】



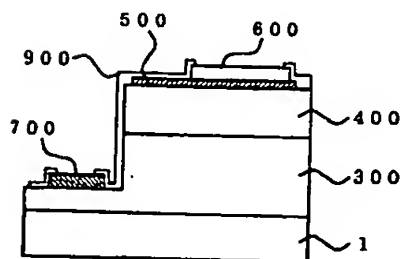
【図5】



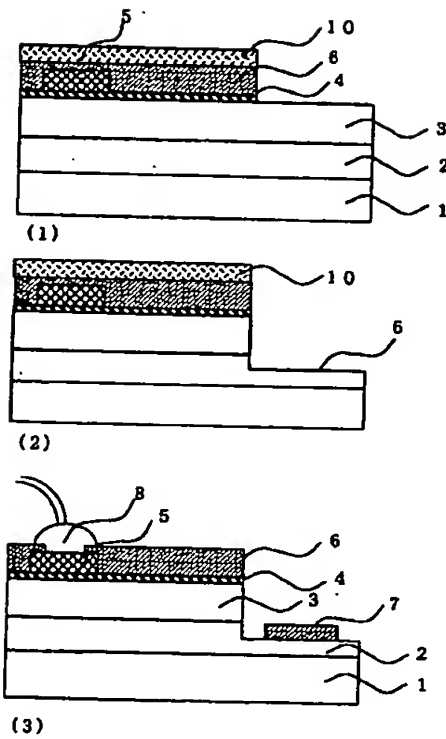
【図7】



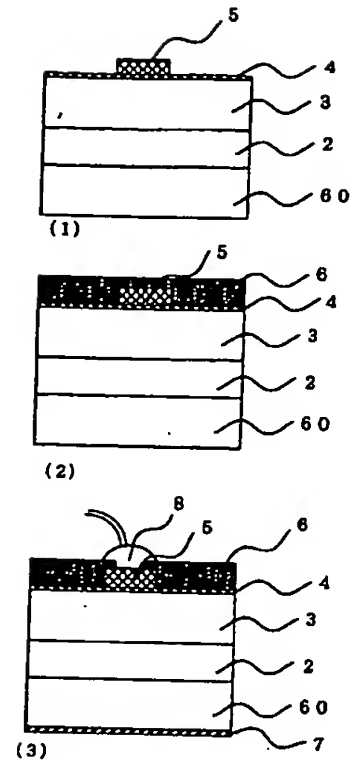
【図14】



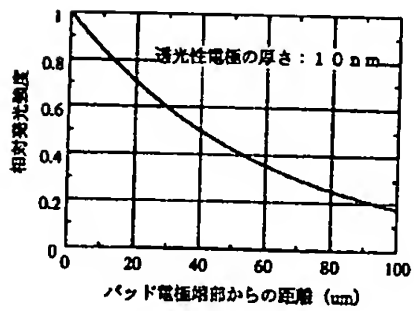
【図8】



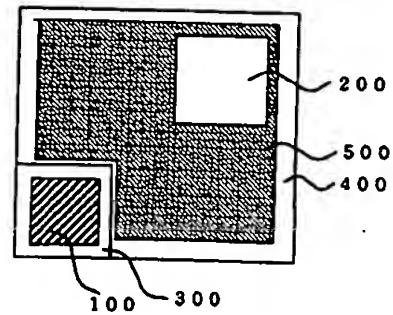
【図9】



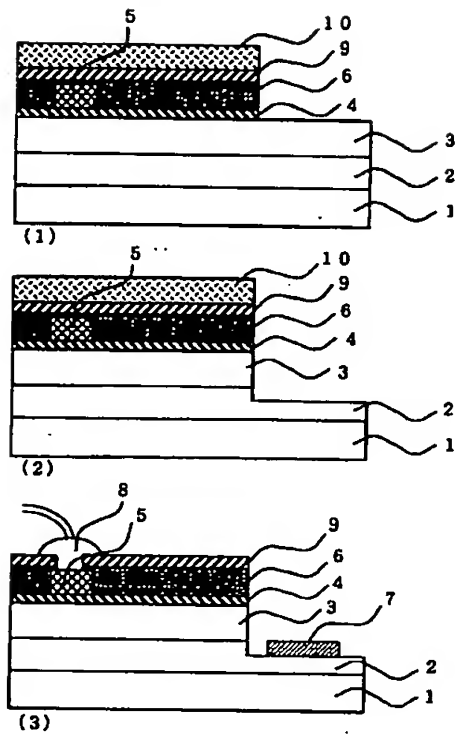
【図12】



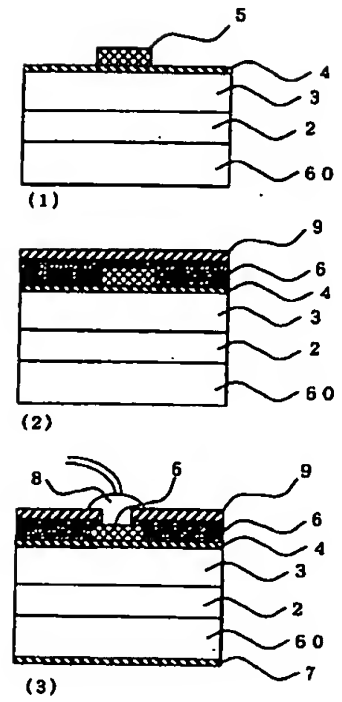
【図13】



【図10】



【図11】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of
the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLATED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER :** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning these documents *will not* correct the image
problems checked, please do not report these problems to the
IFW Image Problem Mailbox.**